

ÉVALUATION DES MARGES SISMIQUES D'UN BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Y. Crolet (EDF / DIN ISEPTEN); E. Bou Said, S. Erlicher, M. Rachidi (EGIS Industries)

INTRODUCTION

Suite à l'accident survenu à la centrale de Fukushima-Daiichi, EDF a mis en place des études complémentaires de sûreté visant à étudier la robustesse des bâtiments nucléaires et évaluer la marge de sécurité «réelle» de ses installations. Plusieurs approches, probabilistes et déterministes, ont été déployées dans l'objectif de vérifier la tenue des bâtiments sous des niveaux de séisme élevés.

La simulation numérique par éléments finis du comportement dynamique des structures en béton armé ou en charpente métallique représente un moyen fiable pour l'évaluation de la sûreté des bâtiments abritant des équipements sensibles.

La différence entre les modèles simplifiés, ayant servi à dimensionner la structure à partir d'efforts sismiques globaux, et les modèles tridimensionnels éléments finis conduit souvent localement à des écarts entre le ferrailage calculé et celui mis en place ce qui rend le diagnostic sismique avec une approche linéaire plus difficile.

La prise en compte d'un comportement non linéaire permet de mieux décrire la réponse dynamique et les marges de capacité du bâtiment en fonction de la résistance et de la ductilité des éléments de structure.

L'étude de la tenue d'un bâtiment combustible (BK) a été réalisée par EGIS Industries sur la plateforme de simulation mécanique Salome-Meca et Code_Aster. Deux approches non-linéaires, poussée progressive et dynamique transitoire, ont été utilisées (Figure 1).

ÉTUDE DE ROBUSTESSE PAR ANALYSE STATIQUE NON-LINÉAIRE (PUSHOVER)

La méthodologie retenue consiste en une analyse tridimensionnelle statique non-linéaire (opérateur STAT_NON_LINE) sous chargement permanent et sous un chargement horizontal monotone croissant (proportionnel à la déformée du mode principal) dite analyse en poussée progressive.

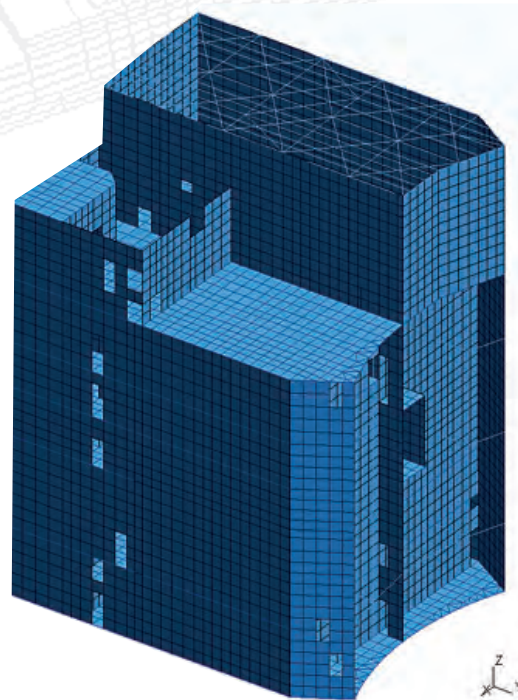


Figure 1 : Maillage du modèle 3D d'un bâtiment combustible.

La modélisation des voiles et des planchers en béton armé est en coque multicouche (éléments DKT pour le béton et GRILLE_EXCENTRE pour les armatures) avec une approche semi-globale.

Le comportement du béton est modélisé par la loi ENDO_ISOT_BETON qui permet de reproduire l'endommagement local asymétrique du béton en prenant en compte l'effet de restauration de rigidité. Les armatures sont modélisées avec une loi élasto-plastique de von Mises à écrouissage isotrope linéaire.

En résumé, la méthode de poussée progressive comporte: la réalisation d'une étude modale pour déterminer les modes prépondérants, la détermination de la courbe de capacité qui sera convertie en spectre de capacité, la conversion des spectres de demande en courbes au format ADRS (accélération spectrale vs. déplacement spectral), et enfin la détermination du point de performance de la structure pour une valeur d'amortissement cohérente avec la position de ce point sur le spectre de capacité (Figure 2).

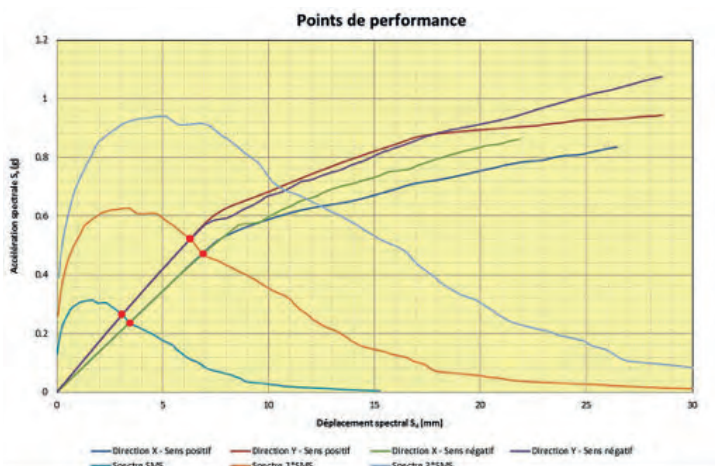


Figure 2 : Détermination des points de performance de la structure.

ÉVALUATION DES MARGES SISMIQUES D'UN BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Y. Crolet (EDF / DIN ISEPTEN); E. Bou Said, S. Erlicher, M. Rachidi (EGIS Industries)

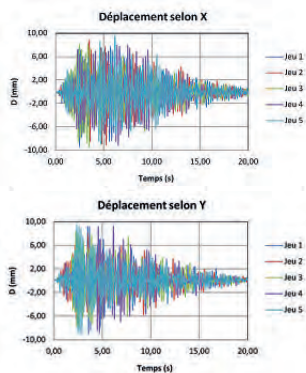


Figure 3: Variations temporelles des déplacements en tête du bâtiment.

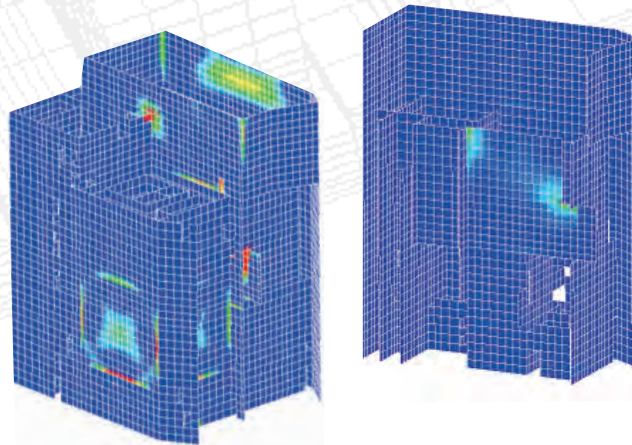


Figure 4: Densité d'énergie dissipée.

Pour un niveau de séisme égal à trois fois le Séisme Majoré de Sécurité (SMS), les intersections des courbes de capacité avec celle de demande appartiennent au domaine non-linéaire de comportement du bâtiment. La détermination des points de performance nécessite un calcul itératif pour prendre en compte l'amortissement dû à la dissipation de l'énergie par boucle hystérétique lors des incursions dans le domaine post-élastique. L'idéalisation du comportement non-linéaire de la structure par un comportement élasto-plastique avec écrouissage permet d'établir une expression analytique de l'amortissement visqueux équivalent évalué dans notre cas à 12% (en s'appuyant sur l'ATC 40).

ÉTUDE DE ROBUSTESSE PAR ANALYSE TRANSITOIRE NON-LINÉAIRE

L'analyse dynamique transitoire non-linéaire sous chargement permanent et sismique est réalisée avec l'opérateur `DYNA_NON_LINE`. Dans cette étude, l'intégration temporelle est réalisée par le schéma implicite de Newmark.

Le modèle de comportement retenu pour les voiles et les planchers en béton armé est dit global (`GLRC_DM`). Cette loi s'écrit directement en termes de relation entre les efforts généralisés et les déformations généralisées.

Les calculs sont faits avec cinq jeux d'accélérogrammes générés à partir du spectre du SMS multiplié par deux. Ce niveau de chargement ne génère pas d'endommagement significatif, ce qui justifie le choix de la loi `GLRC_DM`.

L'interaction sol-structure est prise en compte par l'intermédiaire d'éléments discrets représentant la raideur et l'amortissement du système de fondation. Les impédances de sol sont calculées à l'aide du logiciel `MISS3D`. Les raiders et les amortisseurs des phénomènes de pompage et de balancement sont introduits dans le modèle de façon dissociée.

Les déplacements maximaux et les torseurs à la base du bâtiment entre la méthode de poussée progressive (deux fois le SMS) et le calcul transitoire montrent une bonne cohérence (Figures 3 et 4).

CONCLUSIONS

L'étude de robustesse présentée permet d'évaluer les marges sismiques du bâtiment BK avec deux méthodes d'analyses non linéaires complémentaires.

En effet, la première approche par poussée progressive permet de bien comprendre le fonctionnement du système de contreventement et de mobiliser les capacités résistantes de l'ensemble des éléments structuraux. La recherche d'un point de performance dans la limite des critères de déformations ultimes des matériaux et du *drift* admissible permet d'évaluer la marge sismique de la structure. Le temps de calcul réduit par rapport au calcul transitoire permet d'utiliser une approche semi-globale pour le comportement du béton armé avec une description globale et locale de l'état de déformation de la structure pour des niveaux de chargement élevés.

L'analyse dynamique transitoire non linéaire pour un niveau de chargement proche du séisme noyau dur complète les calculs statiques en prenant en compte directement la dissipation d'énergie induite par l'endommagement du béton. Le temps de calcul relativement important impose le choix d'une approche globale du comportement du béton armé caractérisée par un domaine de validité limité à des niveaux d'endommagement modérés.

Les points critiques dans l'analyse non-linéaire des structures en béton armé restent la robustesse de la loi de comportement du béton, son domaine de validité, et les temps de calcul.